

Rancang Bangun Antena Mikrostrip Untuk Perangkat IoT Peringatan Bahaya Kebakaran

Microstrip Antenna Design for Fire Hazard Warning IoT Device

(* corresponding author)

Abstract

Wireless Sensor Network (WSN) is a network of wireless sensors connected via wireless antennas. In WSN, the wireless antenna functions as a link between the sensors and the receiving device or control center. A microstrip antenna is a wireless antenna characterized by its thin, planar structure and its ability to operate at high-frequency ranges. A microstrip transmission line is a transmission line consisting of strip conductors separated by a dielectric substrate and coated with an underconducting layer. This antenna study is simulated with CST Studio Suite at a center frequency of 2.4 GHz made using FR-4 Epoxy and copper materials, with a rectangular patch, microstrip line distribution technique. The final design dimensions of the antenna are patch width 38mm and length 29.5mm, groundplane width 76mm and length 59mm, feed line width 2.86mm and length 14.75mm, insert width 0.74mm and length 9mm.

Keywords: Antena Mikrostrip, Wireless Sensor Network, CST Studio Suite, Microstrip Line, FR-4 Epoxy

Abstrak

Dalam Wireless Sensor Network, antena nirkabel berfungsi sebagai penghubung antara sensor-sensor dan perangkat penerima atau pusat kontrol. Antena mikrostrip merupakan salah satu jenis antena nirkabel yang memiliki struktur berbentuk datar dan mampu bekerja pada rentang frekuensi tinggi. Jalur transmisi mikrostrip adalah jalur transmisi yang terdiri dari konduktor strip terpisah oleh substrat dielektrik dan dilapisi dengan lapisan konduktor bawah. Penelitian antena ini disimulasikan dengan CST Studio Suite pada frekuensi tengah 2,4 GHz dibuat menggunakan material FR-4 Epoxy dan tembaga, dengan patch segiempat, teknik pencatutan microstrip line. Dimensi desain akhir antena yaitu, patch dengan lebar 38mm dan panjang 29,5mm, lebar groundplane 76mm dan panjang 59mm, lebar saluran pencatu 2,86mm dan panjang 14,75mm, lebar insert 0,74mm dan panjang 9mm.

Kata kunci: Antena Mikrostrip, Wireless Sensor Network, CST Studio Suite, Microstrip line, FR-4 Epoxy

1. PENDAHULUAN

Pemanfaatan teknologi komunikasi nirkabel seperti *Wireless Sensor Networks* (WSN) berkembang dengan sangat cepat. Keberadaan *Wireless Sensor Networks* (WSN) memungkinkan proses pengumpulan dan distribusi data dilakukan secara otomatis, sehingga kegiatan pengolahan serta pemantauan data menjadi lebih efektif dan efisien. *Wireless Sensor Networks* memanfaatkan gelombang elektromagnetik sebagai media transmisi data yang dibutuhkan. Dalam proses pengiriman data tersebut, digunakan antena sebagai perangkat pendukung komunikasi. Antena berfungsi sebagai transduser yang mengubah *guided wave* menjadi gelombang terpancar maupun sebaliknya.

Beberapa jenis antena yang umum digunakan pada sistem komunikasi *Wireless Sensor Networks* (WSN) antara lain antena planar inverted F, antena mikrostrip, antena patch, antena dipol, serta antena dipol berbentuk bow-tie. Pemilihan jenis antena pada WSN dilakukan berdasarkan kebutuhan sistem yang akan dirancang, seperti lokasi penempatan node sensor, topologi jaringan WSN yang digunakan, maupun frekuensi kerja antena. Pada beberapa perangkat WSN, diperlukan antena dengan pola radiasi terarah (*directional*) agar pancaran sinyal dapat difokuskan ke arah tertentu. Terdapat beberapa parameter penting yang perlu diperhatikan pada antena mikrostrip. Parameter-parameter umum tersebut meliputi: 1) pola radiasi, 2) *bandwidth*, 3) *Voltage Standing Wave Ratio* (VSWR), 4) *return loss*, dan 5)

impedansi masukan [1].

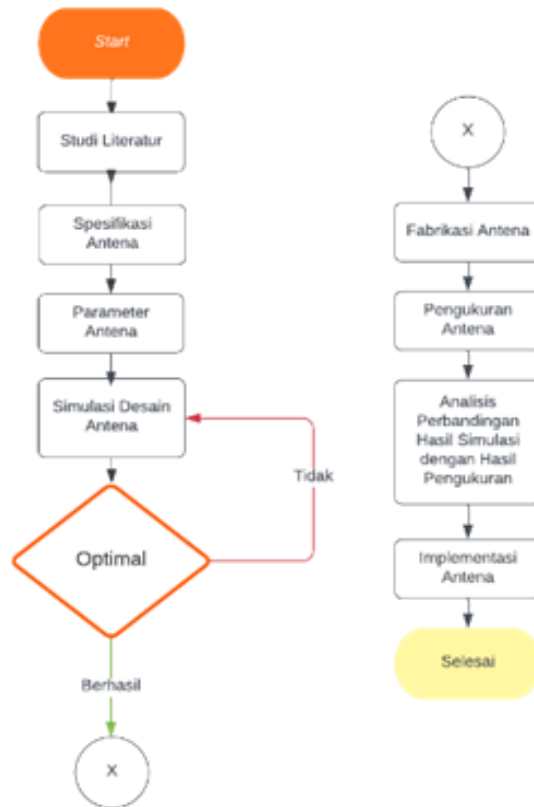
Pada penelitian [2] mengungkapkan adanya hubungan kuat antara pemilihan substrat dan efisiensi radiasi, di mana penggunaan material *low-loss* seperti Rogers RT5880 terbukti mampu menghasilkan efisiensi di atas 80% dibandingkan dengan substrat FR-4 standar. Hasil penelitian [3] menunjukkan bahwa sistem transfer daya induktif (IPT) yang dirancang mampu mencapai efisiensi sekitar 39,3% pada jarak 6 inci, yang membuktikan bahwa penggunaan menara transmisi untuk pengisian daya nirkabel secara berkala merupakan solusi yang layak untuk mendukung operasional drone pelacak kebakaran hutan dalam jangka waktu yang lebih lama. Penelitian [4] berhasil mengembangkan sistem fusi data proteksi kebakaran berbasis RFID dan WSN yang mampu mencapai tingkat pengenalan tag sebesar 99,6% serta mempercepat waktu respons alarm hingga kurang dari 2,7 detik, yang secara signifikan meningkatkan efisiensi manajemen keselamatan dibandingkan teknologi tradisional. Penelitian [5] berhasil mengembangkan antena terintegrasi sel surya berbasis CIGS dengan profil ultra-rendah ($0,0046 \lambda_0$) yang menghasilkan efisiensi radiasi di atas 80% dan faktor bentuk (form factor) mencapai 99,1% pada pita frekuensi ISM 2,4 GHz tanpa adanya pemblokiran optik. Penelitian [6] berhasil mengembangkan desain antena microstrip patch baru untuk frekuensi 868 MHz yang menghasilkan koefisien refleksi sebesar -34,3 dB dan terbukti mampu meningkatkan level performa serta efisiensi komunikasi nirkabel SigFox dalam skenario pengoperasian nyata. Penelitian [7] berhasil mengembangkan antena mikrostrip patch sirkular termodifikasi untuk aplikasi mmWave 5G dan IoT yang menghasilkan penguatan puncak sebesar 12,5 dBi serta efisiensi radiasi mencapai 99% pada frekuensi 46,2 GHz. Hasil penelitian [8] menunjukkan bahwa realisasi antena mikrostrip patch sirkular dengan elemen parasitik untuk radar altimeter berhasil mencapai penguatan sebesar 8,13 dBi dan lebar pita 300 MHz pada pita frekuensi C-band. Studi literatur [9] menyimpulkan bahwa implementasi berbagai teknik desain seperti Defected Ground Structure (DGS) dan metamaterial pada antena CPW-fed mampu meningkatkan lebar pita impedansi hingga 181% dan penguatan hingga 13,1 dBi. Penelitian [10] membuktikan bahwa implementasi sistem monitoring deteksi kebakaran berbasis IoT efektif menurunkan risiko kebakaran secara signifikan, yang ditunjukkan dengan penurunan nilai RPN dari 720 menjadi 84 pada industri LPG. Hasil pengujian [11] menunjukkan bahwa desain antena mikrostrip patch berbentuk L yang dikembangkan untuk aplikasi IoT 2,4 GHz mencapai efisiensi radiasi sebesar 98% dan penguatan puncak hingga 2,09 dBi. Penelitian [12] berhasil merancang antena shared-aperture profil rendah untuk pita 5G FR1 dan FR2 yang menghasilkan penguatan sebesar 18,54 dBi serta kemampuan pemindaian berkas hingga $\pm 30^\circ$ pada frekuensi 27 GHz. Hasil [13] pengujian sistem alarm kebakaran berbasis IoT ini menunjukkan kemampuan sensor untuk mendeteksi api dalam jarak 10 cm dan konsentrasi asap hingga 1080 ppm dengan pengiriman notifikasi peringatan secara real-time melalui WhatsApp.

Berdasarkan hal tersebut, pada penelitian ini dilakukan proses simulasi dan realisasi antena untuk menganalisis pola radiasi antena yang diterapkan pada sistem *Wireless Sensor Networks* (WSN). Penelitian dilakukan dengan pemodelan pada lingkungan padat penduduk. Perangkat WSN yang dikembangkan secara lokal di Indonesia, seperti perangkat *Internet of Things* (IoT) Peringatan Bahaya Kebakaran (PBK) pada penelitian ini, memerlukan antena dengan biaya pembuatan yang rendah, mudah difabrikasi, memiliki dimensi relatif kecil, pola radiasi *directional*, serta bandwidth yang cukup lebar. Di Indonesia, komunikasi WSN umumnya beroperasi pada frekuensi 2,4 GHz. Oleh sebab itu, diperlukan antena yang mampu memenuhi kebutuhan-kebutuhan tersebut.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Tahapan Penelitian

Penerapan pada penelitian ini bersifat analisis dan aplikatif, yaitu tentang rancang dan bangun antena mikrostrip dengan frekuensi kerja 2,4 GHz untuk perangkat IOT peringatan bahaya kebakaran, dengan langkah – langkah pada gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Tahapan Penelitian

2.2. Spesifikasi Antena

Tahap awal pada proses ini dimulai dengan pemilihan material antena, yaitu menggunakan FR4-Epoxy sebagai substrat dengan konstanta dielektrik relatif sebesar 4,4, tembaga sebagai bahan konduktor, serta konektor SMA female dengan impedansi 50Ω sebagai pencatu antena.

Tabel 1. Spesifikasi Substrat

Jenis Substrat	FR4 - Epoxy
Konstanta Dielektrik Relatif (ϵ_r)	4,4
Ketebalan Substrat (h)	1,5 mm

Tahap berikutnya adalah menentukan nilai parameter antena yang dirancang digunakan untuk memperoleh performa antena yang optimal yang diinginkan yaitu pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil Eksperimen Model

No	Parameter Antena	Nilai
1	Frekuensi kerja	2,4 GHz
2	VSWR	< 2
3	Impedansi masukan	50Ω
4	Pola Radiasi	Directional
5	Return loss	< -10 dB

2.3. Perhitungan Dimensi Antena

Dalam perancangan antena mikrostrip dimensi yang perlu diketahui adalah dimensi geometris yang terdiri dari:

- Panjang antena (L) yang biasanya ditentukan oleh frekuensi operasional dan kecepatan gelombang dalam medium elektrik yang digunakan.
- Lebar antena (W) yang tergantung pada impedansi karakteristik yang diinginkan dan lebar jalur transmisi atau pencatutan yang digunakan.
- Groundplane permukaan konduktif yang berada dibawah substrat antena mikrostrip. Dimensi groundplane juga mempengaruhi kinerja antena mikrostrip.
- Pencatutan microstrip line bertujuan menyalurkan daya untuk antena.
- Dengan perhitungan matematis secara berikut:

$$W = \frac{1}{2f_r \sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} = \frac{c}{2f_r} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (1)$$

$$L = L_{eff} - 2\Delta L \quad (2)$$

$$L_{eff} = \frac{c}{2f_0 \sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (3)$$

$$\Delta L = 0.412h \frac{(\epsilon_{eff} + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{eff} - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8 \right)} \quad (4)$$

Keterangan :

W = Lebar patch antenna

L = Panjang patch antenna

fr = Frekuensi kerja antenna

C = Kecepatan cahaya (3x10⁸)

$$Lg = xh + L \quad (5)$$

$$wg = xh + w \quad (6)$$

Keterangan :

Lg = Panjang groundplane dan substrat

Wg = Lebar groundplane dan substrat

x = Faktor pengali dengan nilai ≤ 6

h = Tinggi substrat

$$\lambda_0 = \frac{c}{f_0} \quad (7)$$

$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_{reff}}} \quad (8)$$

$$Lf = \frac{\lambda_g}{4} \quad (9)$$

$$Wf = \frac{2h}{\pi} x \left\{ B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} [\ln(B - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{\epsilon_r}] \right\} \quad (10)$$

$$B = \frac{60\pi^2}{Z_0 \sqrt{\epsilon_r}} \quad (11)$$

Keterangan :

λ_0 = Panjang gelombang diruang bebas

λ_g = Panjang gelombang dalam bahan dielektrik saluran mikrostrip

Lf = Panjang saluran transmisi

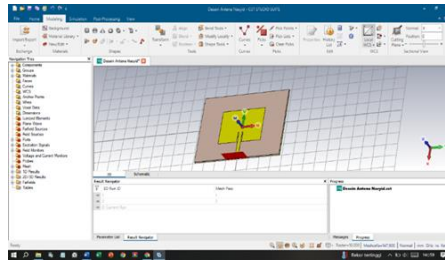
Wf = Lebar saluran transmisi.

2.4. Simulasi dan Optimasi

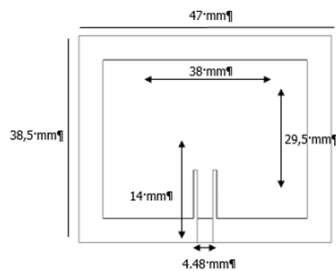
CST Studio Suite adalah perangkat lunak simulasi elektromagnetik yang kuat yang digunakan untuk menganalisis berbagai jenis struktur dan komponen elektromagnetik, termasuk antenna mikrostrip. CST Studio Suite dapat dimanfaatkan untuk merancang, menganalisis, serta mengoptimalkan antenna mikrostrip dengan tingkat ketelitian yang tinggi. Dalam CST Studio Suite, dapat membuat model tiga dimensi (3D) dari antenna mikrostrip menggunakan perangkat lunak pemodelan yang disediakan. Dapat juga mendefinisikan bahan dan parameter geometris antenna, seperti Panjang, lebar, dan ketebalan piringan mikrostrip, serta jenis substrat yang digunakan. Setelah mendesain seperti yang diinginkan dapat juga mensimulasikan elektromagnetik untuk menganalisis performa antenna [14].

Proses simulasi pada perangkat lunak ini dilakukan untuk merancang antenna mikrostrip sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Desain antenna mikrostrip yang diperoleh dari perhitungan matematis berdasarkan persamaan (1)–(11) selanjutnya disimulasikan guna mengetahui performa

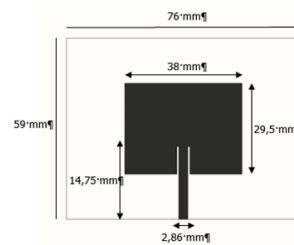
antena. Pada tahap perancangan, parameter utama yang ingin dicapai ditunjukkan pada Tabel 2, sehingga dilakukan beberapa percobaan simulasi dengan desain serta hasil yang ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Simulator Antena CST Studio Suite



Gambar 3. Dimensi Hasil Perhitungan



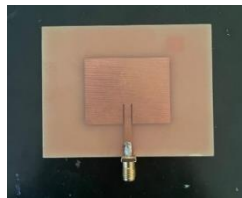
Gambar 4. Dimensi Setelah Optimasi

Proses optimalisasi dilakukan dengan memvariasikan nilai x sebagai faktor pengali pada Persamaan (5) dan (6) dan mengubah nilai saluran pencatu sesuai dengan perubahan dimensi groundplane, Sehingga didapatkannya desain antenna hasil optimasi pada gambar 3.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Fabrikasi Antena

Fabrikasi antenna dilakukan berdasarkan hasil desain yang diperoleh dari tahap simulasi perancangan, di mana seluruh parameter yang diinginkan telah memenuhi spesifikasi yang ditetapkan. Antena mikrostrip direalisasikan dengan menggunakan material FR-4 Epoxy sebagai substrat yang memiliki konstanta dielektrik 4,4 dan ketebalan 1,5 mm, serta lapisan tembaga setebal 0,035 mm sebagai konduktor. Pada bagian saluran transmisi digunakan konektor SMA female dengan impedansi 50 Ω . Hasil fabrikasi antenna ditunjukkan pada Gambar 5, dimensi akhir antenna disajikan pada Tabel 3.

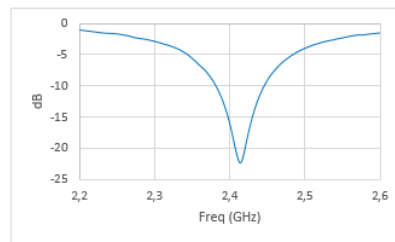


Gambar 5. Hasil Fabrikasi Antena

Tabel 3. Dimensi Akhir Antena

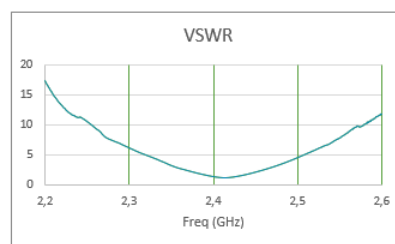
Dimensi	Hasil (mm)
Lebar (<i>patch</i>)	38
Panjang (<i>patch</i>)	29,5
Lebar saluran pencatu	2,86
Panjang saluran pencatu	14,75
Lebar insert	0,74
Panjang <i>inset</i>	9
Lebar <i>ground plane</i>	76
Panjang <i>ground plane</i>	59

3.2 Hasil Pengujian Antena



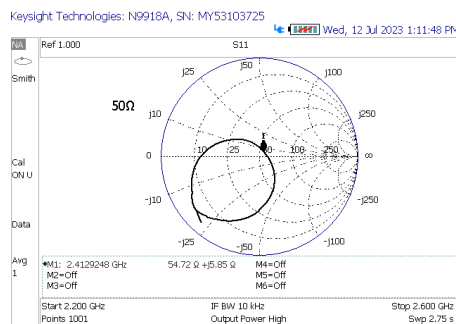
Gambar 6. Hasil Pengujian Frekuensi Kerja, Return Loss, dan Bandwith

Dari gambar 6, didapatkan hasil frekuensi tengah antena dengan nilai 2,41 GHz terjadi peningkatan dari frekuensi tengah yang diinginkan yaitu 2,4 GHz, return loss mendapatkan -22,234 dB sesuai dengan yang diinginkan yaitu ≤ -10 dB, dan bandwith rentang frekuensi yang didapatkan dari -10 dB yaitu frekuensi tertinggi 2,44 GHz dikurangi frekuensi terendah 2,38 GHz didapatkan nilai 63 MHz.



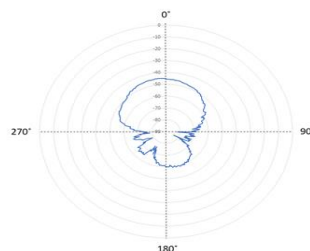
Gambar 7. Hasil Pengujian VSWR

Berdasarkan Gambar 7, diperoleh nilai VSWR sebesar 1,37 pada frekuensi 2,4 GHz. Hasil tersebut menunjukkan bahwa performa VSWR antena tergolong baik, nilainya memenuhi kriteria, yaitu ≤ 2 .



Gambar 8. Hasil Pengujian Impedansi Masukan

Dari gambar 8 didapatkan hasil impedansi masukan $54,72\Omega + j5,85\Omega = 55,01\Omega$, terjadi peningkatan pada impedansi masukan yang diinginkan yaitu 50Ω dimana ini akan mempengaruhi kinerja antena serta interaksi dengan sistem transmisi atau perangkat penerima.

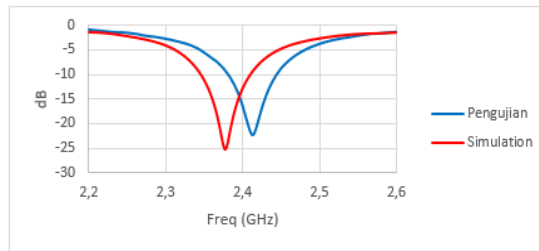


Gambar 9. Hasil Pengujian Pola Radiasi

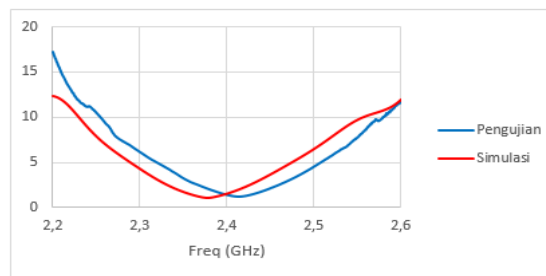
Berdasarkan hasil pengujian, pola radiasi antena menunjukkan karakteristik *directional* dengan arah pancaran *main lobe* berada pada sudut 0° . Selain itu, terdapat *noise* pada bagian *back lobe* yang disebabkan oleh faktor lingkungan serta interferensi elektromagnetik..

3.3 Analisis Perbandingan Hasil Simulasi dengan Hasil Pengujian

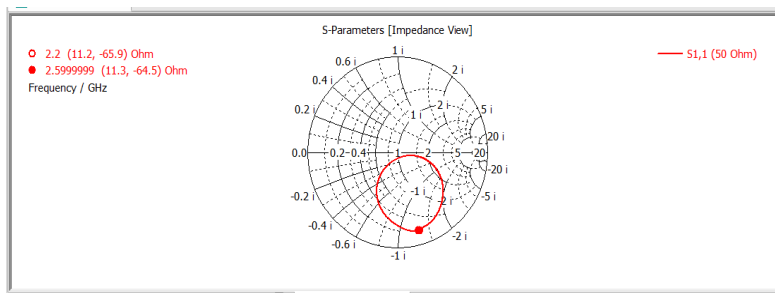
Analisis perbandingan antara hasil simulasi dan hasil pengujian secara nyata dilakukan untuk mengetahui perubahan performa antenna mikrostrip pada tahap simulasi maupun realisasi.



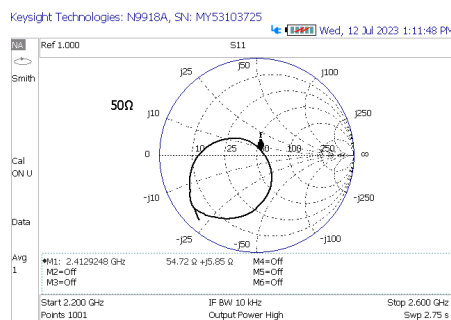
Gambar 10. Perbandingan Data Hasil Simulasi dan Pengujian Frekuensi Kerja, Return Loss dan Bandwith



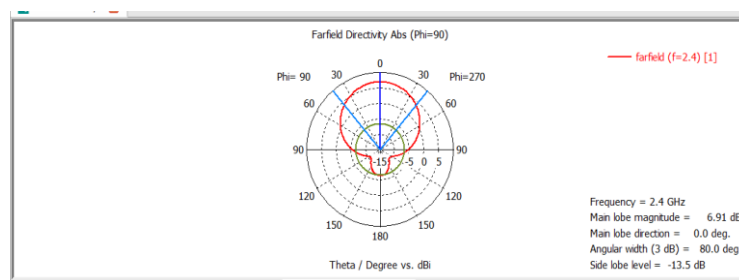
Gambar 11. Perbandingan Data Hasil Simulasi dan Pengujian VSWR



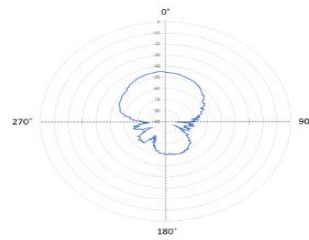
Gambar 12. Hasil Simulasi Impedansi Masukan



Gambar 13. Hasil Pengujian Impedansi Masukan



Gambar 14. Hasil Simulasi Pola Radiasi



Gambar 15. Hasil Pengujian Pola Radiasi

Setelah dilakukan pengujian terhadap setiap parameter antenna yang ditunjukkan pada Gambar 10–15, dapat diamati hasil dari masing-masing parameter yang telah disimulasikan maupun diuji untuk mengetahui kinerja antenna secara keseluruhan. Perbandingan hasil parameter yang diperoleh dari hasil simulasi dan pengujian ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Perbandingan Setiap Parameter

Spesifikasi Antena	Target	Simulasi	Pengujian
Frekuensi tengah	2,4 GHz	2,38 GHz	2,41 GHz
Return loss (pada frekuensi 2,4 GHz)	≤ -10 dB	-16,2 dB	-12,9 dB
VSWR (pada frekuensi 2,4 GHz)	≤ 2	1,57	1,37
Impedansi masukan	50Ω	50Ω	55Ω
Pola radiasi	<i>directional</i>	<i>directional</i>	<i>directional</i>

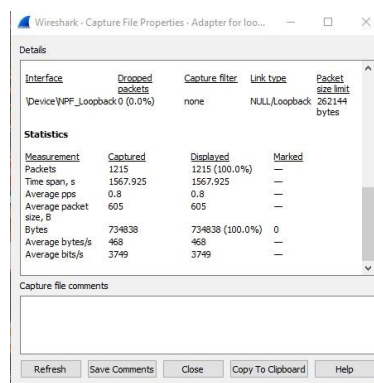
Dari Tabel 4 dapat diketahui kinerja antenna berdasarkan parameter-parameter yang didapat menunjukan tidak semua parameter memenuhi target yang diinginkan. Namun nilai parameter yang didapatkan baik dari simulasi dan pengujian memperlihatkan perubahan yang dapat dihitung dan didapatkan perubahan sebesar 1,25%. Perubahan nilai return loss dan VSWR terjadi akibat adanya perubahan pada impedansi masukan antenna. Selain itu, perubahan pada *return loss* dan VSWR juga dapat memengaruhi frekuensi kerja antenna.

$$\text{Perubahan} = \frac{2,41 - 2,38}{2,4} \times 100\% = 1,25\%$$

3.4 Hasil Implementasi Antena Mikrostrip

a. *Quality of Service*

Dalam melihat kinerja antenna mikrostrip setelah diimplementasikan digunakannya metode quality of service (QOS) untuk memastikan kualitas jaringan nirkabel pada perangkat dalam mentransfer data dari pengirim ke penerima data. Dalam pengujian ini menggunakan software *wireshark* yang berfungsi memantau dan menganalisis lalu lintas data pada jaringan nirkabel dengan parameter-parameternya yaitu *throughput*, *packet loss* dan *delay* [15]. Hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 16.



Gambar 16. Hasil Pengujian Quality of Service

Berdasarkan pengujian didapatkannya nilai throughput 3749,3 kilobits/s, packet loss 0% dan delay 1,2904 ms dimana menurut standar TIPHON termasuk buruk terkecuali packet loss yaitu baik.

b. Jangkauan transmisi antena

Pengujian ini dilakukan untuk melihat perbedaan perangkat IoT yang menggunakan antena dengan yang tidak menggunakan antena dan juga untuk mendapatkan jarak transmisi yang dicari untuk mengoptimalkan penempatan perangkat IoT peringatan bahaya kebakaran pada lingkungan padat penduduk. Hasil pengujian ditampilkan pada Tabel 5 dan 6.

Tabel 5. Jangkauan Transmisi Pada Perangkat IoT Tanpa Antena

Jarak (m)	Data dikirim	Data diterima	Pengiriman data
5	59.00%	59.00%	Berhasil
10	59.00%	59.00%	Berhasil
13	57.00%	57.00%	Berhasil
15	nan%	nan%	Tidak Berhasil
18	nan%	nan%	Tidak Berhasil

Tabel 6. Jangkauan Transmisi Pada Perangkat IoT dengan Antena

Jarak (m)	Data dikirim	Data diterima	Pengiriman data
10	67.00%	67.00%	Berhasil
20	67.00%	67.00%	Berhasil
30	61.00%	61.00%	Berhasil
35	64.00%	64.00%	Berhasil
37	nan%	nan%	Tidak Berhasil
40	nan%	nan%	Tidak Berhasil

Berdasarkan tabel 5 dan 6 data yang didapatkan dengan nilai (%) menunjukkan data kelembaban yang dihasilkan dari sensor dht 11 pada perangkat IoT, terlihat jarak terjauh untuk menempatkan perangkat IoT peringatan bahaya kebakaran tanpa antena adalah 13 meter jika melebihi jarak 13 meter data yang dikirim tidak dapat tersampaikan sedangkan jarak terjauh untuk menempatkan perangkat IoT peringatan bahaya kebakaran dengan antena adalah 35 meter dan apabila melebihi dari 35 meter data yang dikirimkan tidak dapat tersampaikan dari node ke base.

4. KESIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini setelah melalui tahapan perancangan, simulasi, dan realisasi antena mikrostrip adalah sebagai berikut:

- Dimensi didapatkan setelah melakukan optimasi dari simulasi hasil perhitungan dan didapatkannya dimensi desain akhir yang optimal dengan frekuensi kerja 2,38 GHz. Dimensi desain akhir antena yaitu, patch dengan lebar 38mm dan panjang 29,5mm, lebar groundplane 76mm dan panjang 59mm, lebar saluran pencatu 2,86mm dan panjang 14,75mm, lebar insert 0,74mm dan panjang 9mm.
- Terdapat perubahan frekuensi pada hasil pengujian sebesar 1,25% dari hasil simulasi dan frekuensi yang diinginkan. Perubahan ini terjadi dikarenakan adanya perubahan nilai impedansi masukan menjadi 55Ω pada hasil pengujian, perubahan nilai impedansi masukan mempengaruhi nilai VSWR dan return loss hasil pengujian sehingga frekuensi tengah pun berubah. Namun, dapat dilihat baik dari hasil simulasi maupun pengujian antena terancang seperti yang diinginkan tidak terjadi perubahan yang signifikan.
- Hasil pengujian jangkauan transmisi didapatkan jarak terjauh penempatan node ke base pada perangkat IoT tanpa antena yaitu 13 M sedangkan jangkauan terjauh yang berhasil didapatkan setelah menggunakan antena yaitu 35-meter yang menandakan bahwa antena mikrostrip yang dibangun mempengaruhi jarak penempatan node ke base perangkat IoT peringatan bahaya kebakaran.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. Fadilah and K. Budayawan, "Desain dan Karakteristik Antena Microstrip Sebagai Sensor Non – Destructive," *Voteteknika (Vocational Tek. Elektron. dan Inform.*, vol. 10, no. 2, p. 1, 2022, doi: 10.24036/voteteknika.v10i2.116516.
- [2] Y. Albaihani, R. Akram, E. A. Hajlaoui, A. M. Almohaimeed, Z. M. Almohaimeed, and A. Albaihani, "5.8 GHz Microstrip Patch Antennas for Wireless Power Transfer: A Comprehensive Review of Design, Optimization, Applications, and Future Trends," *Electronics*, vol. 15, no. 2, p. 311, 2026, doi: 10.3390/electronics15020311.
- [3] J. La Porte, "Using Inductive and Microwave Power Transfer to Design a Wildfire Tracking

- Drone,” pp. 1–8, 2024, doi: 10.2514/6.2024-78395.
- [4] X. Li, X. Zhang, and L. Lei, “Construction of an Innovative RFID- Based Cross-System Fire Protection Data Fusion and Intelligent Decision- Making System,” pp. 0–9, 2026, doi: 10.20944/preprints202601.2131.v1.
- [5] A. Ali, *et al.*, “Ultra-low profile solar-cell-integrated antenna with a high form factor,” *Sci. Rep.*, vol. 11, no. 1, pp. 1–9, 2021, doi: 10.1038/s41598-021-00461-w.
- [6] L. Anchidin, A. Lavric, P. M. Mutescu, A. I. Petrariu, and V. Popa, “The Design and Development of a Microstrip Antenna for Internet of Things Applications,” *Sensors*, vol. 23, no. 3, 2023, doi: 10.3390/s23031062.
- [7] A. A. G. Mohammed, A. S. A. Gaid, M. A. Alomari, and Z. A. Shamsan, “High-gain microstrip antenna with improved radiation characteristics for mmWave 5G and IoT: Design, optimization, and validation,” *J. Radiat. Res. Appl. Sci.*, vol. 18, no. 4, p. 101964, 2025, doi: 10.1016/j.jrras.2025.101964.
- [8] S. Latifah and H. Madiawati, “Antena Mikrostrip Circular Patch untuk Aplikasi Radar Altimeter pada Frekuensi C-Band Menggunakan Metode Parasitik,” *J. Tek. Media Pengemb. Ilmu dan Apl. Tek.*, vol. 21, no. 2, pp. 106–114, 2023, doi: 10.55893/jt.vol21no2.453.
- [9] *et al.*, “Advancements in CPW-Fed Antennas: Review on Design Techniques and Performance Optimization for 5G and Beyond,” *Curr. Nat. Sci. Eng.*, vol. 2, no. 3, pp. 682–704, 2025, doi: 10.63015/10se-2464.2.3.
- [10] A. Riyadi, E. Nursanti, and J. H. Galuh, “Perancangan Sistem Monitoring Deteksi Kebakaran Berbasis Internet of Things (IoT) Untuk Menurunkan Risiko Kebakaran,” *J. Valtech*, vol. 7, no. 1, pp. 123–128, 2024, doi: 10.36040/valtech.v7i1.9272.
- [11] M. F. Zambak *et al.*, “A Compact 2.4 GHz L-Shaped Microstrip Patch Antenna for ISM-Band Internet of Things (IoT) Applications,” *Electron.*, vol. 12, no. 9, 2023, doi: 10.3390/electronics12092149.
- [12] M. Simone *et al.*, “A Low-Profile Shared Aperture Antenna for FR1 and FR2 5G Frequency Bands,” *IEEE Access*, vol. 12, no. April, pp. 71617–71627, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3400671.
- [13] M. Amirul Akbar P, Suwadi Nanra, and Jumadri JN, “Perancangan Sistem Alarm Kebakaran Berbasis Iot Untuk Mendeteksi Kebakaran Secara Real-Time,” *Zo. Elektro Progr. Stud. Tek. Elektro Univ. Batam*, vol. 14, no. 3, pp. 21–30, 2024, doi: 10.37776/ze.v14i3.1620.
- [14] M. W. Iqbal, F. Y. Zulkifli, and E. T. Rahardjo, “Peningkatan Bandwidth dan Gain Antena Mikrostrip Leaky Wave dengan Multi Slot untuk Aplikasi WLAN,” *ELKOMIKA J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. Tek. Elektron.*, vol. 10, no. 2, p. 432, 2022, doi: 10.26760/elkomika.v10i2.432.
- [15] R. Ramadhan, A. I. Purnamasari, and A. R. Dikananda, “Analisis Perbandingan Quality of Service Menggunakan Virtual Access Point Dan Real Access Point Dengan Metode Tiphon,” *JATI (Jurnal Mhs. Tek. Inform.*, vol. 7, no. 1, pp. 516–526, 2023, doi: 10.36040/jati.v7i1.6352.